Québec

NOTE DE RECHERCHE FORESTIÈRE N° 29, 1986

QUELQUES RÉSULTATS DE FERTILISATION DANS DEUX PLANTATIONS DE PIN GRIS DU CENTRE DU QUÉBEC

G. Sheedy*

O.D.C. 237.4(047.3)(714)
L.C. SD 401 .P66

RÉSUMÉ

Les résultats présentés dans ce rapport montrent que la fertilisation a eu des effets très marqués sur le feuillage, la croissance et l'état de santé des arbres de la plantation de Sainte-Christine. Ainsi, la fertilisation a permis des augmentations maximales de plus de 38 p. 100 sur le volume total (traitement 100-100-0) et de plus de 68 p. 100 sur l'accroissement en volume total (traitement 0-0-100) de cette plantation. En moyenne, les meilleurs traitements comprennent principalement des applications de K et de N (de l'ordre de 100 kg/ha) et ont permis des augmentations de plus de 52 p. 100 sur l'accroissement quinquennal en volume total. Ces augmentations par rapport au traitement témoin sont d'ailleurs statistiquement significatives. D'autre part, les arbres fertilisés en K, NK et NPK présentent en moyenne un meilleur état de santé que les arbres témoins et l'état de ces derniers est meilleur que celui des arbres fertilisés en P et en N.

Les performances de croissance de la plantation de Sainte-Sophie sont nettement plus faibles. Les arbres témoins étaient au départ plus hauts et plus gros et ils le sont encore après cinq ans. Toutefois, les accroissements en hauteur, en diamètre et en volume total des arbres fertilisés avec le traitement 100-75-75 sont supérieurs à ceux des arbres témoins. Il reste que globalement, les arbres de cette plantation ont très peu réagi à la fertilisation.

---

* Ing.f., M.Sc., chargé de recherches en fertilité et reboisement.

Cette étude montre, d'une part, qu'on ne peut généraliser les résultats obtenus à partir d'un dispositif expérimental. Tantôt ces résultats sont spectaculaires, tantôt ils sont médiocres. D'autre part, il semble préférable de fertiliser ce genre de plantation (établie sur des sols d'un faible niveau de fertilité) en N, P et K plutôt qu'en N seulement.

SUMMARY

Results presented here show that fertilization had marked effects on needles, growth and health of trees of the Sainte-Christine plantation. Maximum gains were observed on trees fertilized with 100 kg/ha of N and P (38 p. 100 total volume gain) and with 100 kg/ha of K (68 p. 100 gain in total volume increment). The best fertilizer treatments included application of K and N (at the rate of 100 kg/ha) which caused gains of more than 52 p. 100 of the total volume increments and which are significantly different from control.

Trees fertilized with K, NK and NPK show better health than the control and they are in better shape than P and N fertilized trees.

Growth performance of the Sainte-Sophie plantation is clearly weaker. Control trees were taller and bigger at the beginning of the study and are still taller and bigger five years later. But height, diameter and total volume increment of fertilized trees (treatments 100-75-75) where higher than the control. Fertilization of this plantation was not very effective.

This study show that results from one experimental trial cannot be generalized. They may be spectacular in one case and very poor in another. From a general point of view, it seems preferable to fertilize this kind of plantation where soil fertility is poor with NPK rather than with N only.

INTRODUCTION

Ce projet de fertilisation a été entrepris en 1975, en collaboration avec plusieurs unités de gestion, dans le but de déterminer les quantités optimums d'éléments à appliquer sur une plantation d'un âge, d'une essence et d'une classe de fertilité donnés. Une fertilisation appropriée devrait stimuler suffisamment la croissance des arbres pour rendre ce traitement avantageux dans le cadre d'un aménagement intensif des forêts, du moins pour certaines stations et certaines essences.

Cette note présente les résultats quinquennaux de croissance de deux dispositifs établis dans des plantations de pin gris âgées respectivement de 10 et 17 ans.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

- Description des stations

Les deux plantations étudiées croissent sur des terres abandonnées et font partie de la section L-3 (Moyen Saint-Laurent) de Rowe (1972). L'une d'elles est située à Sainte-Catherine dans la circonscription électorale de Portneuf alors que l'autre est située près de Sainte-Sophie-de-Lévrard dans la circonscription électorale de Nicolet.

Selon les cartes de possibilités des terres pour la forêt (Environnement Canada, 1973 et 1977), ces plantations font partie des classes de fertilité 2 et 3. Ce sont donc des terres comportant des limitations faibles à modérées pour la croissance des forêts. Les principaux facteurs limitant la croissance seraient le manque d'humidité et le faible niveau de fertilité du sol.

Les principales caractéristiques concernant ces plantations (localisation, conditions de sol et de climat, dendrométrie) sont présentées au tableau 1.

- Dispositifs expérimentaux

À Sainte-Christine, le dispositif expérimental comprend 75 placettes, soit trois répétitions de 25 traitements. Le dispositif de Sainte-Sophie n'est constitué que de neuf placettes (trois répétitions de trois traitements). Chaque placette mesure 10 m par 10 m (0,01 ha).

- Traitements de fertilisation

Les traitements de fertilisation utilisés pour cette étude sont présentés au tableau 2. Le choix des traitements dans ces dispositifs à blocs complets a été fait complètement au hasard. Les engrais ont été appliqués manuellement en juin 1978 sur toute la surface des placettes à l'aide d'épandeurs portatifs de marque **Cyclone**.

- Mesurage et échantillonnage

Les sols de ces plantations ont été échantillonnés lors de l'établissement des dispositifs en 1977. Par la suite, des échantillonnages foliaires ont été réalisés dans chaque placette (trois échantillons par placette) en septembre de 1977, 1978, 1980 et 1982. Les échantillons ont été préparés et analysés selon les méthodes usuelles du laboratoire (Walsh, 1971). De plus, une partie des aiguilles échantillonnées dans chaque placette a été mesurée (longueur moyenne de 25 aiguilles) et pesée (masse sèche totale de 200 aiguilles).

La hauteur et le diamètre (à 1,35 m de hauteur) des arbres du centre de chacune des placettes (9 arbres par placette dans le dispositif de Sainte-Christine et 6 dans celui de Sainte-Sophie) ont été mesurés en septembre de 1977, 1978, 1980 et 1982. Lors des mesurages, on note aussi l'état des arbres et la présence de défauts (tiges fourchues ou cassées) ou de blessures sur les tiges (causées par la neige, le verglas, les insectes, les animaux ou les maladies).

Les données sont par la suite compilées mécaniquement et des analyses de variance pour des dispositifs à blocs complets sont effectuées pour chacun des dispositifs.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

- Résultats des analyses du sol

Ces résultats ne sont pas présentés ici. Signalons toutefois que les teneurs en N, P, K, Mg et Ca des horizons minéraux de ces sols étaient, en 1977, inférieurs aux seuils de fertilité proposés pour le pin gris (Wilde, 1968). Le niveau de fertilité du sol à Sainte-Christine était légèrement supérieur à celui de Sainte-Sophie. Ainsi, les teneurs en N, P, K et Mg du sol de même que le pH et la teneur en matière organique sont plus faibles à Sainte-Sophie. On a noté que les teneurs en K et Mg de ces sols sont particulièrement faibles.

Du point de vue fertilité, ces sols se classent parmi les stations de qualité III pour le pin gris. Ce sont des sols dont la texture est un sable et où le contenu en argile est de l'ordre de 2 p. 100. Ces sols sont légers et ils présentent une faible capacité de rétention en eau et en éléments nutritifs.

- Résultats des analyses chimiques des aiguilles

Les résultats présentés au tableau 3 montrent de nombreuses variations dans les concentrations en éléments des aiguilles selon les traitements et les années et entre les deux plantations étudiées.

Les concentrations en N et en P des aiguilles de ces deux plantations correspondent au palier de déficience-suffisance de Swan (1972). Selon ces standards, les concentrations des autres éléments seraient suffisantes.

On observe au tableau 3 que la fertilisation a causé des augmentations dans les concentrations en N des aiguilles de 1978 et en K dans les aiguilles de 1978, 1979 et de 1980. Globalement, pour l'ensemble des traitements de fertilisation comprenant de l'azote et par rapport au traitement témoin, les augmentations dans les concentrations d'azote de 1978 sont de l'ordre de 11 p. 100 (1,55 p. 100 N **vs** 1,39) et de 16 p. 100 (1,62 p. 100 N **vs** 1,40) respectivement (plantations de Sainte-Christine et de Sainte-Sophie).

Les augmentations correspondantes en K sont de l'ordre de 56 p. 100 (0,47 p. 100 K vs 0,30) et de 34 p. 100 (0,47 p. 100 K vs 0,35).

Dans la plantation de Sainte-Christine, les groupes de traitements qui ont causé les plus fortes augmentations dans les concentrations d'azote foliaire en 1978 sont NP (16 p. 100) et NK (13 p. 100). Ainsi, les concentrations moyennes en N foliaire pour ces groupes de traitements sont de 1,61 et 1,56 p. 100 alors que celle du traitement témoin n'est que de 1,39 p. 100. Dans le cas du potassium, ce sont les groupes de traitements K (70 p. 100), NPK (54 p. 100) et NK (51 p. 100) qui ont le plus stimulé les concentrations en K des aiguilles de 1978. Ces dernières pour ces groupes de traitements sont de 0,51, 0,46 et 0,45 p. 100; celle pour le traitement témoin est de 0,30 p. 100. Dans la plantation de Sainte-Sophie, c'est le traitement 100-75-75 (NPK) qui a causé les plus fortes augmentations des teneurs en N (19 p. 100) et en K (34 p. 100) des aiguilles de 1978. Pour ce traitement, ces dernières sont de 1,66 p. 100 N et 0,47 p. 100 K alors qu'elles sont de 1,40 p. 100 N et 0,35 p. 100 K pour le traitement témoin. En moyenne, la fertilisation n'a pas eu d'effets stimulants sur les concentrations en P du feuillage de ces deux plantations. Au contraire, les concentrations en P des aiguilles prélevées sur les arbres fertilisés sont généralement inférieures à celles des arbres non traités.

- Mesures de longueur et de masse des aiguilles

Les résultats des mesures de longueur et de masse des aiguilles de 1978, 1980 et 1982 sont présentés au tableau 4. Ces résultats, et particulièrement ceux de 1978, montrent que les aiguilles prélevées sur les arbres fertilisés sont plus longues et plus lourdes que celles des arbres non-traités. Ainsi, dans le cas de la plantation de Sainte-Christine, les groupes de traitements qui ont eu le plus d'effet sur la longueur et la masse des aiguilles de 1978 sont NK (14 et 32 p. 100 respectivement) et NPK (17 et 29 p. 100 respectivement). Les deux meilleurs traitements (100-100-100 et 75-50-50) ont permis d'augmenter la longueur et la masse des aiguilles de plus de 24 et 39 p. 100 respectivement. Ces dernières augmentations, pour 1978 et par rapport aux aiguilles des arbres témoins, représentent des augmentations de l'ordre de 7 mm sur la largeur des aiguilles et de 0,95 g sur la masse de 200 aiguilles. Dans la plantation de Sainte-Sophie, les engrais n'ont pas eu d'effets aussi prononcés; ainsi en moyenne, pour les deux traitements appliqués, on observe des augmentations de l'ordre de 6 et 13 p. 100 respectivement pour la longueur et la masse des aiguilles de 1978.

Les résultats des analyses chimiques de même que ceux des mesures de longueur et de masse des aiguilles nous indiquent que ce sont principalement l'azote et le potassium qui ont le plus affecté le feuillage des arbres fertilisés. Les meilleurs traitements comportaient des doses de l'ordre de 100 kg/ha de ces éléments.

- Mesures dendrométriques, accroissements quinquennaux en hauteur, en diamètre et en volume total, volume total par hectare et observations sur l'état de santé des plants

a) Plantation de Sainte-Christine

Les résultats présentés aux tableaux 5, 6 et 7 montrent que la fertilisation de cette plantation a stimulé la croissance des arbres (hauteur, diamètre et volume total). Toutefois, ces réactions positives à la fertilisation ne sont significatives que dans le cas des accroissements quinquennaux en hauteur, en diamètre et en volume total (tableau 6). Il existe aussi des différences significatives entre les résultats, selon les répétitions, pour la hauteur, le diamètre, la croissance en diamètre et le volume total (Tableau 6). Il est à noter que dans la répétition A, les arbres sont un peu plus âgés que ceux des autres répétitions, ce qui expliquerait ces différences entre les répétitions.

L'étude des résultats de croissance en hauteur et en diamètre montre que les meilleurs traitements de fertilisation comprennent des applications de NK, de K et de NPK. Par rapport au traitement témoin, ces traitements ont causé des augmentations de l'ordre de 27 p. 100 (53 cm) sur la croissance en hauteur et de 55 p. 100 (7,7 mm) sur celle en diamètre.

Dans la plupart des cas, le volume total des arbres fertilisés est supérieur à celui des arbres témoins (tableaux 5, 6 et 7). En moyenne, après cinq ans, les arbres fertilisés selon les meilleurs traitements (23, 11 et 15) présentent un volume total supérieur à celui des arbres témoins de plus de 32 p. 100 (27,15 m^3/ha). Ces résultats sont donc très intéressants, mais ils ne présentent pas un portrait aussi précis des effets de la fertilisation que l'examen des résultats concernant les accroissements quinquennaux en volume total. Ainsi, ce sont les traitements 0-0-100 et 100-100-100 qui ont le plus favorisé l'accroissement en volume total des arbres. Les arbres qui ont reçu ces traitements présentent après cinq ans des accroissements en volume total supérieurs à ceux des témoins de plus de 68 (23,5 m^3/ha) et 65 p. 100 (22,5 m^3/ha) respectivement. Si on regroupe les traitements selon les éléments appliqués (tableau 7), on constate que ce sont les arbres fertilisés avec les traitements NK (traitements 20,21,24 et 25), K (traitements 9, 10 et 11) et NPK (traitements 12, 13, 14, 15, 16 et 17) qui présentent les meilleurs résultats de croissance en volume total, avec des augmentations par rapport au traitement témoin de plus de 52, 52 et 43 p. 100 respectivement. Ainsi, l'accroissement en volume total des arbres fertilisés avec les traitements NK est en moyenne supérieur à celui des arbres témoins de plus de 18 m^3/ha. D'autre part, le tableau 7 montre aussi que les arbres fertilisés en P (traitements 6, 7 et 8) présentent un volume et un accroissement en volume total à l'hectare inférieurs à ceux des arbres témoins de plus de 11 (9,9 m^3/ha) et 5 p. 100 (7,6 m^3/ha) respectivement. Le fait que ces arbres présentaient au

départ un diamètre légèrement plus faible pourrait expliquer en partie ce résultat. D'ailleurs, si l'application de P seul ne semble pas avoir eu d'effet positif sur la croissance de ces arbres, l'application de P avec N a permis d'obtenir des augmentations de plus de 14 (12,4 m^3/ha) et 22 p. 100 (9,9 m^3/ha) du volume total et de l'accroissement en volume total des arbres par rapport à ceux des arbres témoins (tableau 7). Ces augmentations sont d'ailleurs supérieures à celles obtenues pour les arbres fertilisés avec N seulement.

Ces résultats, de même que ceux qui concernent le feuillage, confirment que ce sont le potassium et l'azote qui ont eu le plus d'impact sur la croissance de cette plantation. Ces résultats sont conformes d'ailleurs à ceux qui ont été obtenus dans l'État de New York et au Québec pour des plantations établies sur des sols semblables. Ainsi, plusieurs auteurs ont mentionné que ces sols sont déficients en K et Mg assimilables (Lafond, 1958; Leaf, 1968 et Phu, 1975). Des études de fertilisation avec ces éléments ont confirmé ces résultats (Lafond, 1962 et Gagnon, 1965). On remarque de plus que les arbres fertilisés avec les meilleurs traitements (11, 14, 15, 19, 20, 23 et 25) ont gagné une classe de fertilité en cinq ans. Ainsi, si on utilise les tables de production brute de Bolghari et Bertrand (1984), ces arbres feraient partie de la classe de fertilité 5 (5 m à 15 ans) alors qu'ils sont maintenant dans la classe de fertilité 6. Ce résultat particulièrement intéressant montre clairement la pertinence de fertiliser ce genre de plantation.

b) Plantation de Sainte-Sophie

Les effets de la fertilisation sur la croissance de cette plantation sont beaucoup plus modestes (tableaux 5 et 6). En fait, lors de l'établissement de ce dispositif en 1977, la hauteur et le diamètre des arbres témoins étaient nettement supérieurs à ceux des arbres fertilisés et ces différences se sont maintenues jusqu'à aujourd'hui (tableau 6). Toutefois, les accroissements quinquennaux en hauteur, en diamètre et en volume total des arbres fertilisés avec le traitement 100-75-75 sont supérieurs à ceux du témoin de 8 (18 cm), 17 (0,55 cm) et 0,5 p. 100 (0,13 m^3/ha) respectivement. Bien qu'il existe beaucoup de variations entre les résultats par traitement et que ces variations soient différentes d'une répétition à l'autre (interaction significative traitements vs répétitions), on ne peut s'expliquer clairement l'absence de réaction sur la croissance de cette plantation comme suite à la fertilisation. En effet, cette plantation pousse dans des conditions de fertilité plus faibles que celles de la plantation de Sainte-Christine et certains arbres présentent même des signes de déficiences (coloration du feuillage, aiguilles courtes). D'autre part, la fertilisation a eu des effets positifs sur le feuillage des arbres (longueur, masse et concentrations en N et K plus élevées).

Le mesurage, dix ans après la fertilisation, permettra peut-être de montrer des effets plus positifs de la fertilisation sur la croissance des arbres de cette plantation.

c) État de santé des arbres

Les tableaux 5, 6 et 7 résument les informations sur l'état de santé des arbres recueillies lors des mesurages. En général, les arbres fertilisés sont au moins en aussi bonne santé que les arbres témoins et le taux de mortalité est de moins de 1 p. 100 dans ces deux plantations. Toutefois, lorsqu'on examine les résultats par plantation, on note des différences. Ainsi, dans la plantation de Sainte-Sophie, moins de 6 p. 100 des arbres présentent des blessures sur la tige alors que ce taux est de l'ordre de 22 p. 100 dans l'autre plantation. De plus, au moins 12 p. 100 des arbres de la plantation de Sainte-Christine présentent des défauts de forme. Il existe d'ailleurs dans cette dernière plantation beaucoup de variations dans l'état de santé des arbres selon les traitements et les répétitions. Ainsi, les arbres fertilisés en K, NK et NPK de cette plantation présentent un meilleur état de santé que les autres. Le taux de blessures et de mortalité de ces arbres n'est en moyenne que de 12 p. 100, alors qu'il est de 22 p. 100 pour les arbres témoins. Le tableau 7 montre de plus que les arbres fertilisés en NP, N et P présentent des taux de blessures et de mortalité nettement plus élevés (24, 29 et 37 p. 100 respectivement). On note toutefois que les arbres penchés ou fourchus sont plus nombreux dans les placettes fertilisées en K (21 p. 100) que dans les autres placettes.

Ces résultats sont importants car ils montrent que la fertilisation en K a eu des effets marqués non seulement sur le feuillage et la croissance, mais aussi sur l'état de santé des arbres de cette plantation. Les arbres fertilisés avec cet élément semblent en effet plus résistants aux blessures causées par les insectes, les maladies, le verglas ou la neige que les arbres témoins et les arbres fertilisés en N et en P.

REMERCIEMENTS

L'auteur tient à souligner la précieuse collaboration de M. Conrad Thomassin, tech. f., responsable de l'équipe qui a établi, fertilisé et mesuré ces dispositifs.

Des remerciements sincères s'adressent particulièrement à MM. Yvon Richard et Mario Ménard, ingénieurs forestiers, pour leur aide judicieuse dans la compilation mécanographique et l'analyse statistique des données, ainsi qu'au personnel du laboratoire des sols et des tissus qui a procédé à l'analyse des échantillons prélevés pour cette étude.

Je tiens à remercier aussi tous ceux qui ont contribué à la dactylographie, à la correction et à la réalisation de cette note.

RÉFÉRENCES

BERTRAND, V., 1986. **Tarifs de cubage pour les plantations résineuses.** Rapport interne en préparation.

BOLGHARI, H.A. et V. BERTRAND, 1984. **Tables préliminaires de production des principales essences résineuses plantées dans la partie centrale du sud du Québec.** Québec, M.E.R., Serv. de la recherche forestière, Mémoire n° 79, 392 p.

CHOINIÈRE, L. et L. LAPLANTE, 1948. **Étude des sols du comté de Nicolet. Québec.** Min. de l'Agr., Division des sols, Bull. tech. n°1, 158 p.

ENVIRONNEMENT CANADA, 1973. **Possibilités des terres pour la forêt. Carte Trois-Rivières 31 L.** Min. Environ. Can., n° de catalogue En 64/3-31 1.

ENVIRONNEMENT CANADA, 1977. **Possibilités des terres pour la forêt. Cartes Québec 21 L, K.** Min.Environ.Can., n° de catalogue En 64/3-21L, K.

FERLAND, M.G. et R.M. GAGNON, 1967. **Climat du Québec méridional.** Québec, Min. Rich. Nat., Serv. de météorologie, 93 p.

GAGNON, J.D., 1965. **Effect of magnesium and potassium fertilization on a 20 year-old red pine plantation.** For. Chron. 41: 290-294.

LAFOND, A., 1958. **Les déficiences en potassium et magnésium de quelques plantations de** Pinus strobus, Pinus resinosa et Picea glauca **dans la province de Québec.** Contr. Fonds Rech. For. Univ. Laval n° 1, 24 p.

LAFOND, A. (Editor), 1962. **Forest fertilization in Canada: Symposium.** Bull. Fonds. Rech. For. Univ. Laval n° 5.

LEAF, A.L., 1968. **K, Mg, and S deficiencies in forest trees** in **Forest fertilization, theory and practice.** Papers presented at the Symposium on forest fertilization, April 1967, at Gainesville, Florida, Tennessee Valley Authority National Fertilizer Development Center, Muscle Shoals, Ala. pp. 89-122.

PHU, T.D., 1975. **Potassium et Magnésium: deux éléments limitant la croissance en hauteur du pin rouge au Québec.** Can. Jour. For. Res. 5(1): 73-79.

RAYMOND, R., G. LAFLAMME et G. GODBOUT, 1976. **Pédologie du comté de Portneuf.** Québec, Min. de l'Agr., Serv. des sols, Bull. Tech. n° 18, 164 p.

ROWE, J.S., 1972. **Les régions forestières du Canada.** Min. Env., Serv. Can. For., Publ. 1300F, 172 p.

SWAN, H.S.D., 1972. **Foliar nutrient concentrations in red pine as indicators of tree nutrient status and fertilizer requirement.** P.P.R.I.C., Woodlands Rep. 41, 19 p.

WALSH, L.M., 1971. **Instrumental methods for analysis of soils and plant tissue.** Soil Sci.Soc. of America, Madison, Wisconsin, U.S.A., 222 p.

WILDE, S.A., 1968. **Forests soils, their properties and relation to silviculture.** Ronald Press, N.Y., 537 p.

Tableau 1: Localisation et description des conditions de croissance, de sol et de climat de deux plantations de pin gris

Caractéristiques	Plantation	
	Sainte-Christine	Sainte-Sophie
Localisation	Ste-Christine de Portneuf	Ste-Sophie de Lévrard
Latitude nord	46° 47' 45"	46° 24' 10"
Longitude ouest	71° 59' 10"	72° 07' 45"
Âge	15 et 17 ans	10 ans
Espacement	2 m x 2 m	2 m x 2 m
Hauteur initiale	5,65 m	3,37 m
Diamètre initial	9,05 cm	4,22 cm
Qualité de station[1]	5 m à 15 ans	5 m à 15 ans
Type de sol	podzol humo-ferrique orthique[2]	podzol humo-ferrique[3]
Texture	sable loameux-caillouteux	sable siliceux
Dépôt	sable	sable
Drainage	modérément bon[2]	capricieux à bon[3]
Température annuelle[4] moyenne	3,8°C	5,3°C
Nombre de jours sans gel	109	114
Précipitations	118 cm	110 cm

1 Tirée de Bolghari et Bertrand (1984)
2 Tirée de Raymond, Laflamme et Godbout (1976)
3 Tirée de Choinière et Laplante (1948)
4 Tirée de Ferland et Gagnon (1967)

Tableau 2: Traitements de fertilisation

Plantation	Traitement n°	Quantité d'éléments (kg/ha)			Quantité d'engrais par placette (kg)		
		N	P	K	U[1]	tsp[2]	KCl[3]
Sainte-Christine	1	Témoin			0	0	0
	2	50	0	0	1,11	0	0
	3	75	0	0	1,66	0	0
	4	100	0	0	2,22	0	0
	5	150	0	0	3,33	0	0
	6	0	50	0	0	2,54	0
	7	0	75	0	0	3,81	0
	8	0	100	0	0	5,08	0
	9	0	0	50	0	0	1
	10	0	0	75	0	0	1,5
	11	0	0	100	0	0	2
	12	50	50	50	1,11	2,54	1
	13	75	75	75	1,66	3,81	1,5
	14	100	100	100	2,22	5,08	2
	15	75	50	50	1,66	2,54	1
	16	100	50	50	2,22	2,54	1
	17	100	75	75	2,22	3,81	1,5
	18	75	50	0	1,66	2,54	0
	19	75	75	0	1,66	3,81	0
	20	75	0	50	1,66	0	1
	21	75	0	75	1,66	0	1,5
	22	100	50	0	2,22	2,54	0
	23	100	100	0	2,22	5,08	0
	24	100	0	50	2,22	0	1
	25	100	0	100	2,22	0	2
Sainte-Sophie	1	témoin			0	0	0
	2	100	0	0	2,22	0	0
	3	100	75	75	2,22	3,81	1,5

[1] U: urée (45 p. 100 N)
[2] tsp: triple superphosphate (45 p. 100 P_2O_5)
[3] KCl: chlorure de potassium (60 p. 100 K_2O)

Tableau 3: Concentrations en N, P, K, Mg et Ca des aiguilles de 1977[1], 1978, 1979 et 1980

Dispositif	Traitements kg/ha				Concentrations en éléments[2] (p.100)																			
	N°	N	P	K	N				P				K				Mg				Ca			
					1978	1979	1980	1982	1978	1979	1980	1982	1978	1979	1980	1982	1978	1979	1980	1982	1978	1979	1980	1982
Sainte-Christine	1	Témoin			1,39	-	1,38	1,01	0,17	-	0,18	0,13	0,30	-	0,29	0,35	0,06	-	0,05	0,04	0,29	-	0,40	0,35
	2	50	0	0	1,50		1,28	1,00	0,17	-	0,16	0,12	0,31	-	0,29	0,28	0,05	-	0,04	0,04	0,23	-	0,40	0,33
	3	75	0	0	1,47	-	1,42	1,15	0,17	-	0,19	0,13	0,38	-	0,30	0,34	0,06	-	0,04	0,06	0,25	-	0,37	0,36
	4	100	0	0	1,48	-	1,34	1,12	0,16	-	0,16	0,15	0,32	-	0,35	0,34	0,04	-	0,03	0,04	0,18	-	0,25	0,28
	5	150	0	0	1,62	-	1,38	1,01	0,15	-	0,17	0,12	0,35	-	0,39	0,35	0,06	-	0,07	0,06	0,24	-	0,34	0,35
	6	0	50	0	1,34	-	1,14	0,90	0,16	-	0,15	0,12	0,31	-	0,26	0,29	0,05	-	0,04	0,05	0,23	-	0,43	0,26
	7	0	75	0	1,29	-	1,19	0,99	0,16	-	0,16	0,13	0,29	-	0,25	0,30	0,06	-	0,04	0,04	0,37	-	0,32	0,34
	8	0	100	0	1,42	-	1,39	1,06	0,19	-	0,21	0,14	0,33	-	0,29	0,38	0,06	-	0,06	0,05	0,24	-	0,37	0,41
	9	0	0	50	1,57	-	1,37	1,12	0,17	-	0,18	0,13	0,47	-	0,40	0,37	0,09	-	0,07	0,05	0,37	-	0,32	0,32
	10	0	0	75	1,43	-	1,36	1,03	0,15	-	0,16	0,12	0,54	-	0,40	0,31	0,07	-	0,04	0,04	0,32	-	0,39	0,34
	11	0	0	100	1,48	-	1,21	0,95	0,16	-	0,13	0,12	0,52	-	0,35	0,33	0,07	-	0,05	0,05	0,32	-	0,41	0,41
	12	50	50	50	1,48	-	1,29	1,04	0,16	-	0,16	0,13	0,49	-	0,42	0,38	0,08	-	0,06	0,06	0,38	-	0,32	0,36
	13	75	75	75	1,46	-	1,39	1,25	0,15	-	0,16	0,15	0,50	-	0,43	0,37	0,07	-	0,06	0,05	0,28	-	0,31	0,42
	14	100	100	100	1,65	-	1,48	1,13	0,16	-	0,21	0,13	0,47	-	0,46	0,41	0,06	-	0,06	0,04	0,24	-	0,30	0,41
	15	75	50	50	1,41	-	1,33	0,97	0,15	-	0,14	0,12	0,44	-	0,43	0,33	0,07	-	0,05	0,05	0,26	-	0,30	0,36
	16	100	50	50	1,49	-	1,41	1,03	0,16	-	0,17	0,13	0,39	-	0,37	0,37	0,07	-	0,04	0,05	0,30	-	0,30	0,29
	17	100	75	75	1,65	-	1,32	1,07	0,16	-	0,17	0,13	0,48	-	0,43	0,40	0,07	-	0,06	0,06	0,32	-	0,31	0,40
	18	75	50	0	1,44	-	1,41	1,08	0,16	-	0,18	0,14	0,31	-	0,30	0,36	0,05	-	0,03	0,04	0,22	-	0,40	0,34
	19	75	75	0	1,60	-	1,27	1,01	0,16	-	0,17	0,12	0,37	-	0,28	0,31	0,07	-	0,05	0,06	0,25	-	0,41	0,34
	20	75	0	50	1,61	-	1,23	1,18	0,17	-	0,16	0,14	0,46	-	0,38	0,42	0,07	-	0,06	0,05	0,28	-	0,35	0,34
	21	75	0	75	1,51	-	1,34	1,02	0,15	-	0,15	0,13	0,43	-	0,41	0,36	0,07	-	0,06	0,05	0,27	-	0,36	0,39
	22	100	50	0	1,69	-	1,39	1,05	0,17	-	0,19	0,14	0,38	-	0,35	0,31	0,06	-	0,05	0,04	0,16	-	0,32	0,33
	23	100	100	0	1,71	-	1,19	1,10	0,17	-	0,16	0,15	0,40	-	0,31	0,28	0,07	-	0,06	0,07	0,27	-	0,37	0,44
	24	100	0	50	1,55	-	1,24	1,06	0,16	-	0,15	0,13	0,43	-	0,39	0,36	0,06	-	0,05	0,06	0,25	-	0,33	0,33
	25	100	0	100	1,59	-	1,25	1,16	0,16	-	0,15	0,14	0,49	-	0,43	0,37	0,06	-	0,04	0,04	0,18	-	0,28	0,34
Moyenne sans le témoin					1,52	-	1,31	1,06	0,16	-	0,16	0,13	0,41	-	0,36	0,35	0,06	-	0,05	0,05	0,27	-	0,34	0,35
Sainte-Sophie	1	Témoin			1,40	0,98	1,22	1,19	0,16	0,13	0,13	0,15	0,35	0,24	0,27	0,28	0,06	0,06	0,05	0,07	0,225	0,35	0,31	0,32
	2	100	0	0	1,59	1,01	1,42	1,24	0,14	0,11	0,15	0,15	0,32	0,26	0,33	0,30	0,03	0,05	0,06	0,06	0,22	0,33	0,32	0,27
	3	100	75	75	1,66	0,94	1,37	1,38	0,15	0,11	0,16	0,16	0,47	0,31	0,40	0,41	0,04	0,04	0,05	0,05	0,24	0,28	0,29	0,24
Moyenne sans le témoin					1,62	0,97	1,39	1,31	0,14	0,11	0,15	0,15	0,39	0,28	0,36	0,35	0,03	0,04	0,05	0,05	0,23	0,30	0,30	0,25

1 Pour Sainte-Christine seulement: 1,29 p.100 N; 0,14 P, 0,31 K, 0,04 Mg, 0,25 Ca en p.p.m.
2 Les données présentées dans ce tableau sont des moyennes pour 9 échantillons.

Tableau 4: Mesures de longueur et de masse des aiguilles de 1978, 1980 et 1982

Plantation	Traitements (kg/ha)				Mesures de longueur (mm)			Mesures de masse (g)		
	N°	N	P	K	1978	1980	1982	1978	1980	1982
Sainte-Christine	1	témoin			31	31	24	2,44	2,53	1,71
	2	50	0	0	34	29	28	2,84	2,75	2,20
	3	75	0	0	31	29	30	2,54	2,33	2,31
	4	100	0	0	31	32	27	2,89	2,43	1,96
	5	150	0	0	35	27	29	2,94	1,93	2,10
	6	0	50	0	34	36	26	2,75	2,87	1,71
	7	0	75	0	32	30	27	2,75	2,38	1,95
	8	0	100	0	32	35	28	2,83	2,78	2,19
	9	0	0	50	36	29	26	2,87	1,98	1,76
	10	0	0	75	32	36	30	2,46	2,59	2,23
	11	0	0	100	37	31	28	3,26	2,22	1,94
	12	50	50	50	35	34	31	3,16	2,83	2,48
	13	75	75	75	35	30	29	2,92	2,34	1,84
	14	100	100	100	39	36	28	3,42	2,90	1,85
	15	75	50	50	38	35	26	3,36	3,07	2,03
	16	100	50	50	35	30	31	3,05	2,21	2,65
	17	100	75	75	36	32	25	2,98	2,40	1,35
	18	75	50	0	34	36	28	2,89	2,64	1,55
	19	75	75	0	33	32	29	2,43	2,65	1,95
	20	75	0	50	36	30	28	3,42	2,32	2,05
	21	75	0	75	37	32	26	3,20	2,46	1,70
	22	100	50	0	33	36	27	2,84	3,01	1,86
	23	100	100	0	37	30	27	3,20	2,09	2,17
	24	100	0	50	37	31	33	3,09	2,14	2,65
	25	100	0	100	37	38	31	3,21	2,94	2,35
Moyenne sans le témoin					35	32	28	2,97	2,51	2,03
Sainte-Sophie	1	témoin			36	29	28	2,96	1,97	1,66
	2	100	0	0	39	30	26	3,38	2,21	1,89
	3	100	75	75	38	32	26	3,32	2,49	1,93
Moyenne sans le témoin					38	31	26	3,35	2,35	1,93

[1] Longueur et masse moyenne de 200 aiguilles par traitement

Tableau 5: **Mesures[1] de hauteur et de diamètre de 1982, croissance quinquennale en hauteur et en diamètre, volume total et état de santé des plants**

Plantation	Traitements (kg/ha)				Hauteur	Diamètre	Croissance quinquennale		Accroissement en volume total (m^3/ha)		Volume[2] total	État de santé[3] (p. 100)			
	N°	N	P	K	(m)	(cm)	Hauteur	Diamètre	(m^3/ha)	(p. 100)	m^3/ha	S	M	B	F
Sainte-Christine	1	témoin			7,51	10,62	1,98	1,41	34,31	-	84,15	67	-	22	11
	2	50	0	0	7,85	10,28	2,06	1,61	36,39	6,1	82,58	44,5	-	44,5	11
	3	75	0	0	7,43	10,66	2,01	1,69	37,29	8,7	84,83	59	-	22	19
	4	100	0	0	7,76	10,84	2,05	1,88	41,39	20,6	90,01	59	-	30	11
	5	150	0	0	8,18	11,28	2,30	1,82	47,80	39,3	104,14	74	7	11	8
	6	0	50	0	7,88	10,13	2,20	1,42	34,04	-0,8	79,61	48	-	48	4
	7	0	75	0	7,38	10,18	1,94	1,62	33,30	-2,9	75,50	48	-	37	15
	8	0	100	0	7,03	9,94	1,99	1,62	30,37	-11,5	67,63	63	-	26	11
	9	0	0	50	8,16	11,17	2,45	1,96	47,06	37,2	97,60	67	-	7	26
	10	0	0	75	8,23	11,61	2,40	2,23	51,72	50,7	104,13	70	-	19	11
	11	0	0	100	8,66	11,75	2,84	2,34	57,80	68,5	110,46	70	-	4	26
	12	50	50	50	7,66	10,43	2,28	1,82	37,74	10,0	79,50	70	-	11	19
	13	75	75	75	8,37	11,28	2,44	2,21	49,67	44,8	100,18	96	-	-	4
	14	100	100	100	7,87	11,75	2,46	2,55	56,82	65,6	106,86	70	-	11	19
	15	75	50	50	8,22	11,85	2,51	2,37	55,96	63,1	107,27	74	-	15	11
	16	100	50	50	7,95	10,60	2,56	2,22	44,50	29,7	84,26	59	4	26	11
	17	100	75	75	8,75	11,40	2,54	1,95	49,99	45,7	104,04	82	4	7	7
	18	75	50	0	8,04	10,58	2,21	1,59	36,87	7,5	84,36	81	-	19	-
	19	75	75	0	8,46	11,46	2,20	1,74	47,10	37,3	105,63	78	-	18	4
	20	75	0	50	8,37	11,71	2,69	2,27	55,85	62,8	107,22	78	-	11	11
	21	75	0	75	7,89	11,19	2,30	2,14	46,45	35,4	93,09	63	0	30	7
	22	100	50	0	7,69	10,20	2,24	1,80	38,75	12,9	80,17	70	4	22	4
	23	100	100	0	8,35	12,15	2,30	2,11	54,12	57,7	116,16	56	11	22	11
	24	100	0	50	8,34	11,37	2,62	2,06	52,86	54,1	103,69	82	-	7	11
	25	100	0	100	8,31	11,72	2,60	2,29	54,11	57,7	104,76	70	-	4	26
Moyenne sans le témoin					8,03	11,06	2,34	1,97	46,22	33,3	95,38	68	1	19	12
Sainte-Sophie	1	témoin			5,87	8,13	2,21	3,30	25,96	-	39,66	89	-	11[4]	-
	2	100	0	0	5,46	7,27	2,16	3,31	20,13	-22,4	31,04	100	-	-	-
	3	100	75	75	5,64	7,90	2,39	3,85	26,09	0,5	36,87	94	-	6	-
Moyenne sans le témoin					5,55	7,58	2,27	3,58	23,11	-10,9	33,95	97	-	3	-

[1]Moyenne pour 27 arbres par traitement. [2]Volume total = $0{,}0024179 + 0{,}0000332410D^2H$: volume d'une tige en m^3 (Bertrand, 1986). [3]S: arbres sains M: taux de mortalité; F: forme (arbre tordu, fourchu, penché); B: arbres présentant des blessures (ex. tête cassée) causées par insectes, maladie neige ou verglas. [4]11 p. 100 = 5,5 p. 100 d'arbres présentant blessures (tête cassée, etc.) + 5,5 p. 100 d'arbres présentant signes de déficience.

Tableau 6: Mesures dendrométriques de 1977 à 1982 par répétition, moyennes pour le traitement témoin et les traitements de fertilisation et observations sur l'état de santé des plants

Plantation	Répétitions et traitements	Hauteur (m)				Croissance quinquennale		Diamètre (cm) 1982	Volume total (m^3/ha)	Accroissement en volume total (m^3/ha)	État de santé des plants (p.100) 1982				
		1977	1978	1980	1982	Hauteur (m)	diamètre (cm)				Sains	Morts	Blessures	Forme	Autres
Sainte-Christine	A	6,16	6,63	7.67	8,56	2.36	1,67	11,71	111,26	49,09	74	2	14	9	1*[1]
	B	5,51	6,01	6,99	7,84	2,30	2,04	10,87	88,64	43,92	61	1	31	16	1**[2]
	C	5,27	5,80	6,78	7,68	2,37	2,21	10,65	84,46	44,31	69	1	20	10	1**[2]
	Témoin	5,40	5,83	6,62	7,51	1,98	1,41	10,62	84,15	34,31	67	-	22	11	-
	Fertilisés	5,66	6,16	7,17	8,06	2,35	1,99	11,10	95,38	46,22	68	1	19	12	1
Valeur de F	Répétitions	20,6**	16,2**	14,3**	12,1**	0,8	30,1**	7,9**	11,58**	1,97	-	-	-	-	-
	Traitements	0,8	0,8	0,9	1,1	3,2**	4,7**	1,2	1,1	2,01**	-	-	-	-	-
Sainte-Sophie	A	3,25	3,50	4,45	5,42	2,17	3,72	7,59	33,33	22,87	94	-	6	-	-
	B	3,36	3,63	4,72	5,70	2,35	3,58	7,80	36,91	24,97	94	-	6	-	-
	C	3,59	3,90	4,89	5,82	2,23	3,15	7,86	36,84	23,99	94	-	-	-	6
	Témoin	3,66	4,00	5,05	5,87	2,21	3,30	8,13	39,66	25,96	89	-	6	-	5
	Fertilisés	3,28	3,53	4,52	5,55	2,27	3,58	7,58	33,95	23,11	97	-	3	-	-
Valeur de F	Répétitions	0,7	0,7	0,6	0,4	0,3	1,9	0,1	0,14	0,06	-	-	-	-	-
	Traitements	1,1	1,3	1,1	0,4	0,6	2,1	0,7	0,64	0,69	-	-	-	-	-

** Différences statistiquement significatives au seuil de 0,01
1 Arbre déficient
2 Blessure causée par des insectes

Tableau 7: Volume total, accroissement en volume total et état de santé des arbres par groupe de traitements Plantation de Sainte-Christine

Groupe de traitements	Volume total		Accroissement en volume total		État de santé des arbres p.100 [2]		
	m^3/ha	p.100 [1]	m^3/ha	p.100 [1]	B + M	F	S
T	84,15	-	34,31	-	22	11	67
N	90,39	7,4	40,72	18,7	29	12	59
P	74,25	-(11,8)	32,75	-(5,1)	37	10	53
K	104,06	23,7	52,19	52,1	10	21	69
NP	96,58	14,8	44,21	22,8	24	05	71
NK	102,19	21,4	52,32	52,5	13	14	73
NPK	97,02	15,3	49,11	43,1	13	12	75

1 Pourcentage d'augmentation par rapport au témoin.
2 Nombre d'arbres (en pourcentage) qui ont été affectés par des blessures (tête cassée, etc.), qui présentent une mauvaise forme (arbres fourchus, penchés) ou qui sont exempts de défauts.

Gouvernement du Québec
Ministère de l'Énergie
et des Ressources (secteur Forêts)
Direction de la recherche
et du développement

Tous droits réservés
Gouvernement du Québec